

# 岗德尔山河流阶地及其所反映的 河套与银川盆地的沟通\*

陈俊<sup>1</sup>, 张珂<sup>1</sup>, 梁浩<sup>1</sup>, 傅建利<sup>2</sup>, 李庶波<sup>1</sup>

(1. 中山大学地球科学与地质工程学院//广东省地质过程与矿产资源  
探查重点实验室, 广东 广州 510275;  
2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 鄂尔多斯西北缘岗德尔山地处黄河中游, 介于河套和银川盆地之间, 山体西侧广泛发育河湖相沉积构成的阶地, 留下了更新世以来黄河贯通两盆地的记录, 是解剖新构造运动和水系关系的典型区域。作者实地详细考察了岗德尔山西侧的构造与地貌, 发现了被抬升成阶地的河湖相沉积层, 揭示了阶地高度沿现今黄河显示出“低-高-低”的拱形特征,  $T_2$  阶地河湖相沉积层露头顶部和中部的光释光年龄分别为  $82.23 \pm 9.88$  ka、 $116.76 \pm 11.41$  ka, 底部的电子自旋共振年龄为  $467 \pm 124$  ka。阶地的时空分布特征表明, 岗德尔山西侧中、晚更新世曾经存在过连接河套和银川两盆地的河湖地貌, 岗德尔山沿着桌子山断裂带(主要是岗德尔山东麓断层)抬升的同时, 山体还有向北扩展的趋势。由于构造抬升, 湖泊缓慢萎缩, 河流逐渐占优, 留下了现今所见到的两级河湖相阶地。研究揭示, 银川与河套两盆地本已沟通, 更新世构造抬升使两盆地之间的湖泊逐渐缩小, 河流逐步壮大, 最终形成现今所见的黄河。

**关键词:** 鄂尔多斯西北缘; 河流阶地; 新构造运动; 黄河; 河湖相沉积

中图分类号: P546 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2014)06-0027-10

## The River Terrace Response to the Connection of Hetao and Yinchuan Basins along the Gangdeer Mountains, North Ordos

CHEN Jun<sup>1</sup>, ZHANG Ke<sup>1</sup>, LIANG Hao<sup>1</sup>, FU Jianli<sup>2</sup>, LI Shubo<sup>1</sup>

(1. School of Earth Science and Geological Engineering//Guangdong Provincial Key Laboratory of Mineral Resources and Geological Processes, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The Gangdeer Mountains, located in the northwest margin of the Ordos Plateau, is a key area for understanding the formation and evolution of the drainage system in response to neotectonic movement. Two terraces ( $T_1$  and  $T_2$ ) composed of fluvial-lacustrine deposits have been formed along the west piedmont of the Gangdeer Mountains. Dating of  $T_2$  yields ages of  $82.23 \pm 9.88$  ka (OSL),  $116.76 \pm 11.41$  ka (OSL) and  $467 \pm 124$  ka (ESR) for the upper, middle and lower deposit cropout, respectively. The longitudinal profile of both terraces indicates an arch-form, high in the middle of the Gangdeer Mountains and low in the area adjacent to Hetao and Yinchuan basins, suggesting the effects of mountain uplift. Lakes coexisting with rivers in the Middle to Late Pleistocene, gradually shrank as the Gangdeer Mountains were uplifted along the Zhuozi Mountains Fault Zone (mainly along the Eastern Piedmont Fault of Gangdeer Mountains) and the zone of uplift propagated northward. Eventually, the rivers gradually

\* 收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40972113, 40672124); 中国地质调查局地地质调查基金资助项目(1212011120101, 1212011120099)

作者简介: 陈俊(1990年生), 男, 研究方向: 构造地质学; 通讯作者: 傅建利; E-mail: fujianli@pku.org.cn

prevailed over the lakes, leading to formation of the Yellow River, and its two terraces and their fluvio-lacustrine deposits.

**Key words:** northwestern margin of the Ordos Plateau; river terrace; neotectonics; Yellow River; fluvial-lacustrine deposit

中游黄河呈“几”字形围绕鄂尔多斯高原的西、北、东边缘流动。在“几”字的西北角,黄河冲破山脉屏障,形成宽谷,向北奔流,最后在磴口附近,把银川盆地之水砂带入河套盆地。黄河宽谷把山脉分成东、西两部分,西南为贺兰山,东北为岗德尔山。近南北走向的岗德尔山脉西侧留下了系列阶地。这些阶地记录了银川、河套两盆地的水文关系,有着重要的研究价值。

关于黄河的形成演化,前人认为黄河是由若干湖泊逐渐沟通而成的,但形成时间未有共识<sup>[1-2]</sup>。岗德尔山是研究黄河贯通的关键地带之一,前人对山地及山地西侧的阶地开展过一些工作<sup>[3-13]</sup>,但对于银川、河套两盆地的沟通时间、沟通过程、沟通方式、沟通原因等尚未开展过专门而详细的研究。例如,究竟是由南往北沟通还是由北往南沟通然后再发生逆转?沟通时的侵蚀基准面在哪里?沟通过程是由湖到河还是发生过河-湖-河的转化?触发两者沟通的原因是构造、气候、两者的联合抑或是河流溯源侵蚀的自然过程?如果是后者,与晋陕峡谷的贯通有关吗?在岗德尔山西侧黄河在整体黄河的形成演化过程中处于什么位置等等。显然,上述疑问中包含着不少有趣而重要的科学问题。

围绕上述问题,作者沿着岗德尔山西侧开展了详细的构造、地貌及年代学工作,试图更深入地解读该区盆地、河流、构造以及古环境变迁。

## 1 地质地貌概况

岗德尔山地处鄂尔多斯地块西北缘,隶属于桌子山的一部分<sup>[14-15]</sup>,为南北走向的条带状山体,山体最大高程位于中部,达 1 600 m,向南、北逐渐降低。山体主要由前寒武纪白云岩、砂岩、片麻岩和寒武纪白云岩以及奥陶纪的灰岩、白云岩、页岩、砂岩、粉砂岩组成<sup>[15-23]</sup>,周边被古近系、新近系和第四系超覆(图 1)。岗德尔山总体为南北向背斜山,主要受西倾东冲岗德尔山东麓断层( $F_1$ )逆冲影响,山体东麓地层直立甚至倒转<sup>[3-4,8,11-12,20-21,24]</sup>。

岗德尔山地区主要活动断层包括近东西向的正谊关断裂带( $F_3$ )、鄂尔多斯北缘断裂( $F_7$ )和近南北向的桌子山断裂带(主要有岗德尔山东麓断

裂 $F_1$ 、桌子山东麓断裂 $F_2$ 和千里山西缘断裂 $F_6$ ) (图 1)。其中,正谊关断裂带( $F_3$ )为长期活动的区域性断裂带,总体走向为东西方向,石嘴山-乌达谷地隐伏,晚更新世-全新世冲洪积砂砾石层之上未见断层活动迹象<sup>[9]</sup>,向东过黄河沿桌子山南端出露,随后又隐伏于地下。早期为强烈的挤压-右旋平移性质,新生代晚期以来为挤压-左旋平移为主,第四纪时期活动强烈<sup>[9,25]</sup>。鄂尔多斯北缘断裂( $F_7$ )形成于上新世末,为北倾的正断层,该断裂东段地貌表现较清楚,走向近东西,西段为库布奇沙漠覆盖,走向逐渐转向北东东(图 1),仅在瓦窑、城拐子等地可见断层陡坎,晚更新世以来垂直活动速率约为 0.8 mm/a<sup>[25]</sup>。桌子山断裂带为长期活动断裂带,隶属于贺兰山-桌子山冲断层系统<sup>[3,26-27]</sup>,该冲断层系统包括岗德尔山东、西麓断层( $F_1$ 、 $F_5$ )和桌子山东麓断层( $F_2$ ),向北延伸接千里山西麓断层( $F_6$ ),向南延伸至银川盆地黄河断裂<sup>[4,10,21]</sup>。桌子山断裂带第四纪活动显著并呈明显的分段活动特点<sup>[4,10]</sup>,受千里沟断层( $F_4$ )的分割,桌子山断裂带在千里沟以北切割晚更新世砂砾石层及黄土,并使冲沟右行位移达 22 m,根据被错断的黄土层<sup>14</sup>C 测年可知该断裂最新活动时间为全新世早期(距今 9 710 ± 70 a)<sup>[10]</sup>,在千里沟以南,断裂分为东西两支,西支凤凰岭-岗德尔山西麓断裂( $F_5$ ),活动明显减弱,东支以卡布其为界分南北两段,北段沿桌子山西麓和凤凰岭-桌子山之间展布,活动较弱,南段沿岗德尔山东麓展布( $F_1$ ),活动较强,切割中更新世高台洪积扇和晚更新世山前戈壁<sup>[4,10]</sup>。受特提斯洋闭合和青藏高原隆升的影响<sup>[26]</sup>,岗德尔山强烈抬升,造成古地理格局的明显变革。

鄂尔多斯为矩形的稳定地块,属于中朝克拉通,基底为太古宙变质杂岩,中生代鄂尔多斯地块相对周缘为西深东浅的大型凹陷盆地,新生代鄂尔多斯地块转变为以隆升为主,周缘形成一系列断陷盆地,如银川、河套和渭河盆地<sup>[25,28-31]</sup>。银川盆地总体走向北北东,夹持在贺兰山与鄂尔多斯盆地西缘断褶带之间,是在贺兰山构造带基础上演化形成的西深东浅的箕状盆地。新生代以来,银川盆地两侧受北北东向断裂控制,发生持续断陷<sup>[25]</sup>。



4 m, 未见底, 砾石成分复杂, 但主要是以灰岩为主, 阶地二元结构明显, 阶地面顶部海拔 1 077 m, 拔河约 7 m。T<sub>2</sub> 上部为浅黄、浅红色黄土层, 下部出露为褐黄色河漫滩相细砂层, 厚度约 5 m, 未见底, 其中钙结核和交错层理较发育, 细粉砂层中可见细小的砾石条带, 阶地面顶部海拔 1 092 m, 拔河约 22 m (表 1)。剖面往东发育大型洪积扇, 阶地被山前洪积角砾层覆盖。

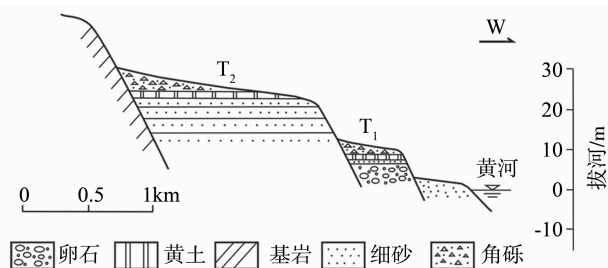


图 2 黄河村废弃采沙场河流阶地剖面 (A 点)

Fig. 2 Section of river terraces at renunciative sandpit, Huanghe Village

表 1 岗德尔山西缘不同地段河流阶地对比表

Table 1 Correlation of the river terraces at different sites along the Western Gangdeer Mountains

剖面点	GPS 地理坐标	T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>	
		海拔/m	拔河/m	海拔/m	拔河/m
黄河村废弃采沙场 (A 点)	39°26'N, 106°45'E	1 077	7	1 092	22
黄河村黄河二队 (B 点)	39°28'N, 106°45'E	1 077	9	1 093	25
觉海寺 (C 点)	39°30'N, 106°45'E	1 077	13	1 093	29
乌达黄河大桥 (D 点)	39°33'N, 106°46'E	1 069	7	1 115	53
河源村 (E 点)	39°35'N, 106°47'E	1 068	7	1 085	24
磨石沟砖厂 (F 点)	40°14'N, 107°00'E	1 060	6	-	-

## 2.2 黄河村黄河二队阶地剖面

该阶地剖面位于黄河东岸黄河村以北的人工采沙场 (图 1 中的 B 点), 可见两级堆积阶地 (图 3), 阶地面顶部海拔和拔河见表 1。T<sub>2</sub> 阶地高出 T<sub>1</sub> 阶地面约 16 m, 阶地沉积剖面可分为 3 层, 上部为浅黄色黄土层, 中部为夹角砾和粉砂透镜体的粘土层, 下部为厚层的中-细砂层夹粘土层, 未见底。河湖相层主要为中-细砂夹粘土层沉积, 具水平层理。

## 2.3 觉海寺阶地剖面

该剖面位于觉海寺附近 (图 1 中的 C 点), 发育有两级阶地, T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 阶地为嵌入关系, 均发育在厚层的砖红色粘土层之上, 并被冲洪积角砾覆盖 (图 4)。T<sub>1</sub> 阶地下部为河漫滩相细粉砂夹细层粘土, 上部为冲洪积角砾层。T<sub>2</sub> 底部为厚砂层, 砂层胶结较好, 中部为含细砾粉砂、粘土层, 顶部为冲洪积角砾层。

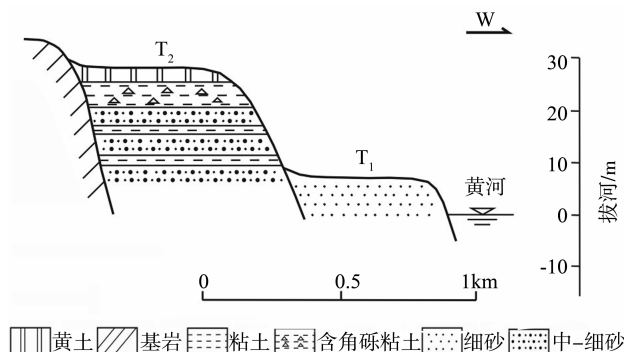


图 3 黄河村黄河二队河流阶地剖面 (B 点)

Fig. 3 Section of river terraces near the Second Huanghe Team, Huanghe Village

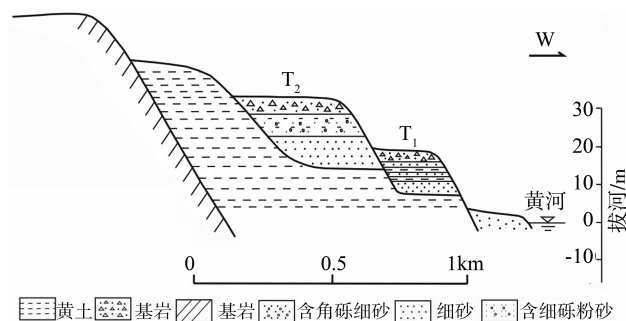


图 4 觉海寺河流阶地剖面 (C 点)

Fig. 4 Section of river terraces around Juehai Temple

## 2.4 乌达黄河大桥阶地剖面

黄河大桥阶地剖面位于乌达黄河大桥东侧附近 (图 1 中的 D 点), 为人工露头, 出露良好。该处发育两级阶地 (图 5)。T<sub>1</sub> 为堆积阶地, 阶地面拔河 7 m, 顶部为近 1 m 厚的冲洪积细角砾层, 中部为厚约 1 m 的灰黄色细砂层, 底部为角砾层, 阶地面海拔 1 069 m, 阶地中后缘被风成黄沙覆盖。T<sub>2</sub> 阶地面拔河约 53 m, 上覆近 6 m 厚的洪积角砾层, 角砾层底部含磨圆好的河流相砾石层, 分选好, 以灰岩、砂岩和石英岩为主, 粒径多小于 5 cm。砾石层下为河湖相沉积, 不见底。河湖相沉积上部含白色粘土层, 厚约 0.5 m, 中部为粘土和中细砂互

层，底部为灰黄色 - 黄褐色中砂层，含零星角砾。河湖相层剖面出露厚度约 25 m，已详细测量采样。

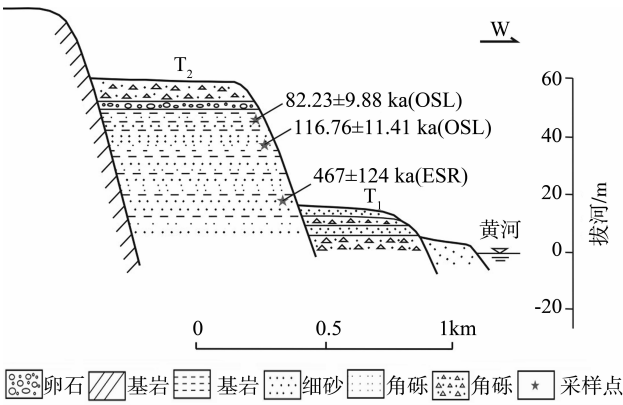


图 5 乌达黄河大桥河流阶地剖面 (D 点)  
Fig. 5 Section of river terraces near the Wuda Yellow River Bridge

### 2.5 河源村阶地剖面

河源村阶地剖面位于河源村君正化工厂附近 (图 1 中的 E 点)，该处冲洪积扇发育，阶地面被冲洪积扇覆盖，见两级阶地 (图 6)，其中 T<sub>1</sub> 阶地较为典型，阶地剖面分上、下两部分，上部为灰黑色的冲洪积层，下部为黄绿色的细砂层夹浅红色粘土层。T<sub>2</sub> 阶地拔河约 24 m，剖面上部为灰黑色冲洪积角砾石层，下部为黄色细砂层，砂层夹薄层状砖红色粘土层，未见底。

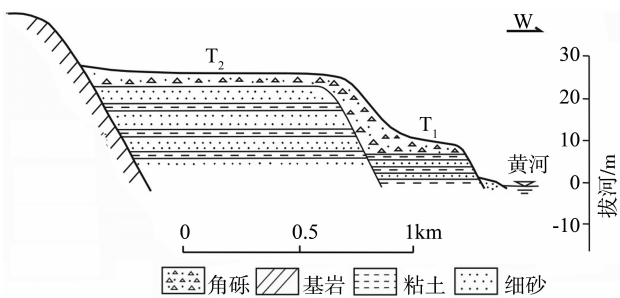


图 6 河源村河流阶地剖面 (E 点)  
Fig. 6 Section of river terraces at the Heyuan Village

### 2.6 磨石沟砖厂阶地剖面

剖面位于磴口黄河边的磨石沟砖厂附近 (图 1 中的 F 点)，为人工露头，T<sub>1</sub> 阶地发育良好 (图 7)，剖面分为上、下两部分，下部为褐黄色细砂和褐红、砖红色粉砂质粘土夹粉砂、细砂互层，出露厚度为 5.5 m，上部为浅黄色的黄土层；T<sub>1</sub> 以上的平台已被人工改造成村庄和公路，阶地沉积难以辨别，尚不能确定是否为 T<sub>2</sub>。

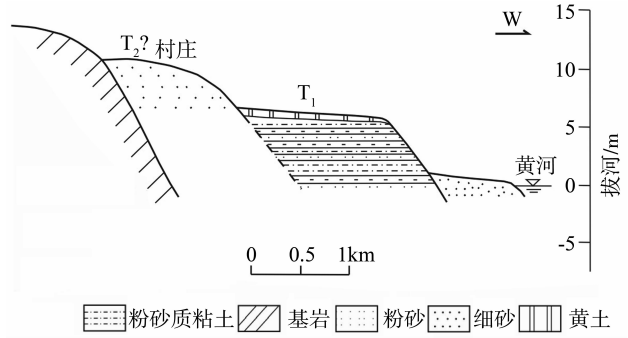


图 7 磴口磨石沟砖厂河流阶地剖面 (F 点)  
Fig. 7 Section of river terraces nearby Moshigou Brickfield, Dengkou

对比各阶地剖面发现，相对于同一级阶地而言，岗德尔山西麓南、北端阶地拔河较低，而中部的乌达黄河大桥、觉海寺一带阶地拔河明显升高；且 T<sub>2</sub> 阶地拔河变化最为明显，T<sub>1</sub> 阶地拔河变化减弱。

## 3 河湖相层定年

岗德尔山地区共有 2 处阶地剖面点出露河湖相沉积，分别为黄河村黄河二队阶地剖面 and 乌达黄河大桥阶地剖面。本文河湖相层样品采样于乌达黄河大桥阶地剖面 (D 点)。

### 3.1 河湖相层描述

该河湖相层出露于 T<sub>2</sub> 阶地沉积下部，河湖相层顶界位于 T<sub>2</sub> 阶地砾石层下，顶界拔河 50 m 左右，自河湖相层顶部开始以 5 cm 的间距向下采样，采样厚度 25.5 m，剖面未见底。自上而下该套河湖相层描述如下：

0.0 ~ 0.2 m，棕红 - 黄棕色粉砂质粘土，夹杂少量淡灰绿色斑块；

0.2 ~ 0.5 m，淡灰绿色，淡褐黄色与灰褐色混杂粉砂层；

0.5 ~ 1.2 m，淡灰褐色粉砂 - 细砂层，夹杂有淡褐黄色条斑；

1.2 ~ 1.4 m，钙质胶结中砂层顶部夹杂少量砾石，淡灰褐色，采测年样品 12WD - 01A、B；

1.4 ~ 1.9 m，灰白、淡褐黄色和淡青灰色混杂粘土层 (以白色粘土层为主，为硅藻土层)；

1.9 ~ 2.5 m，灰白色 - 淡青灰色含粉 - 细砂粘土层，下部夹有少量黄褐色细砂纹层；

2.5 ~ 3.3 m，灰褐色 - 灰黄色含黄褐色斑点的粘土质粉砂 - 粉砂质粘土层与灰色细砂层互层，其中 2.5 ~ 2.6 m 主要为青灰、黄褐色含小砾的砂砾层；2.6 ~ 2.8 m 互层均为纹层状，厚度小于 1 cm；2.8 ~ 3.3 m 砂层厚 2 cm 粘土质粉砂层厚约 10 ~ 15 cm 粉砂层中夹有断续的小细砂纹层；

3.3 ~ 3.5 m，淡灰棕褐色粉砂质粘土与褐黄色粉 - 细砂斑点斑条混杂层；

3.5~4.0 m, 上部 30 cm 为灰白-淡青灰色粉砂质粘土, 含褐黄色斑点和斑条; 下部 20 cm 为淡灰褐色粘土质粉砂, 含褐黄色斑点; 底为一粗砂小砾层;

4.0~5.1 m, 淡灰黄-淡灰褐色粘土质粉砂层, 见有黑色根系, 上部 30 cm 含有黄褐色斑块;

5.1~5.4 m, 灰黄色粗砂细砾石层;

5.4~5.9 m, 淡黄棕色粉砂质粘土层, 含黄褐色斑迹, 破碎成块状;

5.9~6.3 m, 淡黄绿色-淡灰黄色粘土层, 含少量小于 1 cm 的灰色或黄褐色细砂团;

6.3~6.8 m, 其中 6.3~6.6 m 为淡棕褐色-淡褐黄色粉泥砂质粘土, 6.6~6.8 m 为纹层状淡棕褐色粉砂质粘土与褐黄色粉-细砂互层, 水平层理, 含贝壳化石;

6.8~7.0 m, 淡黄绿色粉砂和灰褐色粉砂质粘土混杂层, 含黄褐色条纹;

7.0~7.6 m, 淡灰绿色粉-细砂层夹灰褐色粘土质粉砂互层, 粉细砂厚 15 cm, 粘土质粉砂层厚约 5 cm, 共有 4 层砂夹 3 层粘土质粉砂;

7.6~7.8 m, 淡灰绿色-黄绿色细砂层夹纹层灰褐色粘土;

7.8~8.3 m, 灰褐色粘土与淡黄绿色粉细砂纹层互层, 层间有黄褐色斑线;

8.3~8.6 m, 棕褐色粘土层, 下部 10 cm 渐变为棕褐与黄绿色;

8.6~9.0 m, 淡黄绿色粉砂层与淡棕褐色粉砂质粘土混杂层, 含黄褐色斑点或斑块;

9.0~9.4 m, 顶底各 10 cm 为淡棕褐色粉砂质粘土混杂黄绿色粉砂团和黄褐色斑点, 中间为黄绿色粉砂, 淡棕色粉砂质粘土与黄褐色粉砂混杂层;

9.4~9.9 m, 暗红色粘土层;

9.9~10.1 m, 淡灰绿色粘土层, 混杂有含黄褐色斑团的灰绿色粉砂;

10.1~10.5 m, 灰褐色细砂, 含多条黄褐色根系, 略有胶结;

10.5~11.8 m, 灰褐色中-细砂层, 采测年样品 12WD-02A、B;

11.8~13.3 m, 角砾层夹杂粘土;

13.3~13.7 m, 灰白色粘土质粉砂层, 夹有黄褐色斑条;

13.7~14.5 m, 棕褐色粘土层夹灰白色粘土质粉砂层, 灰白色粉砂层中含有黄褐色斑条;

14.5~15.2 m, 灰黄色细砂夹有灰白色粘土薄层, 灰白色薄层顶底均有黄褐色层砂层中亦见有黄褐色斑团;

15.2~15.6 m, 含零星圆砾的冲洪积角砾层, 混杂有中细砂, 部分角砾表面包裹有黄褐色膜;

15.6~18.0 m, 灰褐色中砂层或灰色中砂层与淡灰绿-黄褐色粉细砂层和纹层粘土层(灰白-淡黄绿色)互层, 其中黄褐色-灰绿色粉细砂层有弯曲现象, 采测年样品 12WD-03A、B;

18.0~20.5 m, 灰黄色与灰白色粉细砂互层, 夹有灰白色薄的粘土层, 中间部分层为粗砂层含小砾;

20.5~21.5 m, 淡灰褐色中-细砂层, 含黄褐色斑团;

21.5~22.3 m, 淡灰褐色细砂夹灰白色粘土纹层, 其中 21.7~21.8 m 为一角砾层;

22.3~22.7 m, 灰褐色中砂层;

22.7~23.2 m, 淡棕褐色与淡青灰色粘土层, 夹黄褐色斑线;

23.2~24.2 m, 淡灰黑与淡灰黄色, 黄褐色混杂细砂层夹淡棕褐色粘土层, 其中 23.6~23.7 m 和 23.8~23.9 m 为粘土层;

24.2~24.4 m, 淡青灰色粉砂层夹淡棕褐色粘土纹层, 夹杂黄褐色斑条;

24.4~25.5 m, 灰黄色细砂层, 含有黄褐色斑条, 上部 30 cm 含粘土稍多, 采测年样品 12WD-04A、B。

该河湖相层中含有厚达 1~2 m 的硅藻土层(图 8a 和 b), 通过扫描电镜观察判断该硅藻土层中的硅藻种属为颗粒直链藻(*Melosira*)最窄变种, 由直链藻的生长环境可知<sup>[37]</sup>, 该湖泊湖水较浅, 湖水流速缓慢, 富含营养物质。由此推测岗德尔山地区西麓可能是以河湖共存的形式存在, 而非孤立的湖泊。



(a) 硅藻土层



(b) 硅藻土

图 8 河湖相沉积中的硅藻土

Fig. 8 Diatomite in the fluvio-lacustrine deposit

### 3.2 绝对年龄

在对河湖相层采样过程中分别取距河湖相层顶界 1.0、11.0、25.2 m 样品进行测年，测年方法主要是光释光 (OSL) 和电子自旋共振 (ESR)。样品主要采自河湖相层的中 - 细砂层，采用直径 6 cm 长 15 cm 的钢管水平向里约 50 ~ 100 cm 处采样，用锡箔包裹整个钢管，并用胶带密封避免见光和水流失。光释光测试取自钢管中部样品。释光信号测量在美国产 Daybreak 1100B 型释光仪测量系统上完成，光释光激发光源波长  $470 \pm 5$  nm 的蓝光束，使用光源最大功率的 80%，样品测试条件是在高纯氮气氛下，预热温度 260 °C，预热时间 10 s；试验剂量的预热温度 220 °C，预热 10 s；BLSL 则采用 125 °C；测量时间为 60 s。辐照源为 Daybreak801 型  $\beta$  源 (Sr90/Y90)，于 2013 年 10 月 16 日标定的 (用于 90 ~ 125  $\mu\text{m}$  粗颗粒石英) 辐照剂量率为 0.033 442 61 Gy/s。通过对河湖相层不同深度绝对年龄测定可以得出古湖的存在时间段。由于该河湖相地层未见底，因此本文只能测定采样部位的年龄，通过河湖相层出露地层的顶底初步限定古湖的时间为中、晚更新世 (表 2)。本文采用河湖相层顶部和中部样品光释光测年，对底部样品进行电子自旋共振测年。

表 2 岗德尔山地区 D 点 T<sub>2</sub> 河湖相层不同深度绝对年龄表

Table 2 Chronology of fluvio-lacustrine deposit in different depths at the T<sub>2</sub>, site D, along the Gangdeer Mountains

样品编号	深度/m	测年方法	绝对年龄/ka
12WD-01A	1.0	OSL	82.23 ± 9.88
12WD-02A	11.0	OSL	116.76 ± 11.41
12WD-04B	25.2	ESR	467 ± 124

### 3.3 相对年龄

根据乌达黄河大桥和黄河村黄河二队阶地剖面描述和可知，T<sub>2</sub> 阶地底部为河湖相沉积，河湖相层上部为晚更新世早期，下部可能到达中更新世中、晚期，由于剖面均未见底，河湖相地层开始沉积时间可能更早。上述事实说明，岗德尔山西侧至少在中更新世中、晚期存在过湖泊。银川、河套两盆地之间可能曾经是宽阔的河湖并存景观，河流蜿蜒，湖泊发育，与银川和河套两古湖连为一体。

综合河湖相层的硅藻土生长环境、绝对年龄和相对年龄，可以推断，至少在中更新世中期至晚更新世早期，岗德尔山西侧地区河流与湖泊并存，随着山地抬升，水流下切，湖泊萎缩，逐渐转变为以

河流为主的的地貌景观，并在岗德尔山西麓留下两级堆积阶地。

## 4 讨论

岗德尔山地处河套和银川盆地之间，河流阶地成因如何？阶地的高度沿河变化的原因何在？岗德尔山南、北端阶地是怎么过渡到银川和河套盆地的？下面就这些问题展开讨论。

河流阶地的形成受多种因素控制，如基面升降、气候变化、构造运动以及气候—构造因素的结合<sup>[39-43]</sup>。岗德尔山地区广泛发育河流阶地，岗德尔山北部 (河源村) 发育有两级堆积阶地，中部 (黄河大桥东侧) 发育有两级嵌入阶地和河湖相沉积，其中 T<sub>2</sub> 阶地河湖相沉积厚度很大；南部 (黄河村二队和废弃采沙场) 发育完整的两级堆积阶地。中、南部河湖相沉积均未见底。第四纪河套与银川盆地总体处于下沉状态，银川盆地内未见阶地，河套盆地则发育堆积阶地 (台地) (图 9)。

河流阶地对比表和纵剖面图显示 (表 1、图 9) 岗德尔山西侧不同位置阶地拔河高度不一，从南到北主要呈现“低—高—低”拱形隆起，显然很难仅用气候因素去解释，与前人认为“鄂尔多斯地块周缘的黄河阶地并非气候因素主导、更大可能受构造因素控制、阶地成因与青藏高原阶段性隆升有关”等观点相符<sup>[40,43]</sup>。

那么上述阶地是否因黄河从河套盆地溯源侵蚀形成？还是构造运动引起岗德尔山抬升使黄河下切造成？

前人研究表明，河套盆地东部托克托一带最新湖相层年龄约 100 ka<sup>[44-47]</sup>，并有由东向西逐渐变新的趋势，现今西侧的阿拉善一带仍有湖泊残留，反映了河套古湖湖水由托克托一带泄入晋陕峡谷、侵蚀基准面降低并溯源侵蚀的过程<sup>[26]</sup>。湖水排泄后，湖相层出露成河套盆地黄河两岸广泛发育的台地，台地面大致代表了古侵蚀基准面 (图 9 中水平黑线)。该台地面由东向西海拔高度虽不断升高，但拔河高度却逐渐降低，并在巴彦淖尔一带渐变为河漫滩，暗示溯源侵蚀及裂点后退至今尚未进入岗德尔山西侧，巴彦淖尔一带约 1 037 ~ 1 042 m 的台地面高度大致代表了岗德尔山西侧当时河流下切的下限 (图 9)，因此岗德尔山西侧阶地的形成与晋陕黄河溯源侵蚀无关。

岗德尔山西侧阶地分布于近南北向的岗德尔山背斜西翼 (图 10)，且该背斜由岗德尔山东麓断层 (F<sub>1</sub>) 控制<sup>[3,4,8,11-12,20,24]</sup>。岗德尔山地区主要活动

断层 (图 1) 包括正谊关断裂带 ( $F_3$ )、桌子山断裂带 (岗德尔山东麓断裂  $F_1$ 、桌子山东麓断裂  $F_2$  和千里山西缘断裂  $F_6$ ) 和鄂尔多斯北缘断裂

( $F_7$ )，上述阶地的形成不能不从断裂活动等新构造运动去寻求解释。

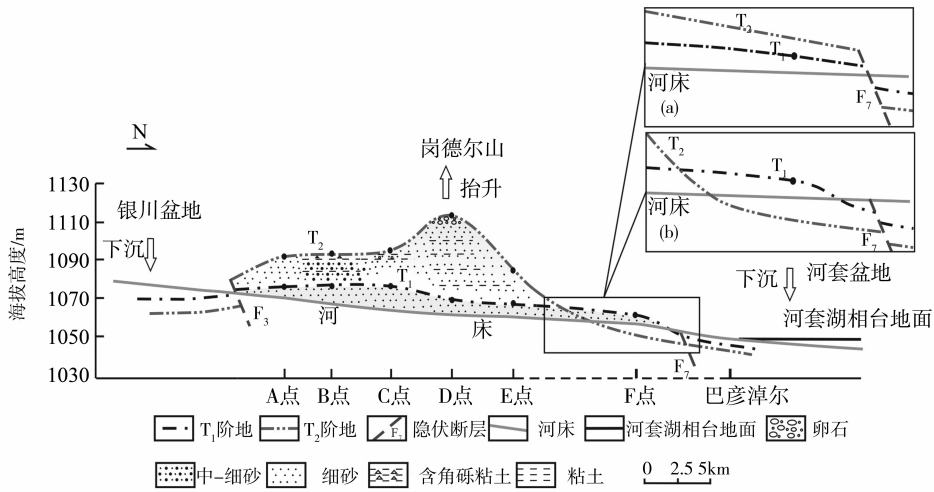


图 9 岗德尔山地区河流纵剖面图

Fig. 9 Section of the Yellow River longitudinal profile along the Gangdeer Mountains  
 $F_3$  - 正谊关断裂;  $F_7$  - 鄂尔多斯北缘断裂 (虚线段比例缩短)

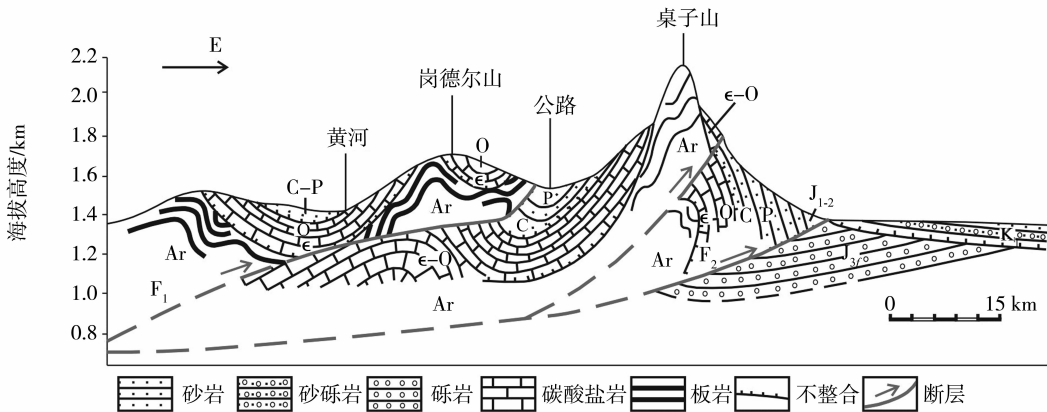


图 10 岗德尔山推覆构造示意<sup>[24]</sup>

Fig. 10 Sketch section of the Gangdeer Mountains thrust

$F_1$  - 岗德尔山东麓断裂;  $F_2$  - 桌子山东麓断裂;  $K_1$  - 下白垩统;  $J_{3r}$  - 上侏罗统芬芳河组;  $J_{1-2}$  - 下、中侏罗统;  
T - 三叠系; P - 二叠系; C - 石炭系; O - 奥陶系;  $\mathbb{C}$  - 寒武系; Ar - 太古宇

桌子山断裂带为中生代形成的大断裂带<sup>[48-49]</sup>，第四纪以来活动较强，岗德尔山东麓断裂 ( $F_1$ )、桌子山东麓断裂 ( $F_2$ ) 上盘向东逆冲可能使岗德尔山抬升且向南北两端扩大，进而形成从南到北呈现“低-高-低”隆起的阶地。

正谊关断裂带 ( $F_3$ ) 为长期活动的区域性断裂带，第四纪活动强烈，该断裂可能错断  $T_1$ 、 $T_2$  阶地，形成图 9 所示的阶地特征。

鄂尔多斯北缘断裂 ( $F_7$ ) 形成于上新世末，为北倾的正断层，该断层为库布奇沙漠覆盖，断距

由西向东逐渐减小，晚更新世以来垂直活动速率约为  $0.8 \text{ mm/a}$ <sup>[25]</sup>。因此，岗德尔山西侧阶地的形成除了与  $F_1$  活动有关外，还可能与鄂尔多斯北缘断裂 ( $F_7$ ) 存在联系。第一种可能是， $T_1$ 、 $T_2$  阶地过  $F_7$  断裂时，陡然下降 (图 9 (a))，断层切错所形成的裂点会沿河上溯，但这种可能性与实际不符，地表未见阶地扩展到  $F_7$  附近，从磴口到银川盆地，河床纵剖面并未见明显裂点；第二种可能是， $F_7$  断裂西段隐伏于地下，仅错断埋藏阶地 (图 9 (b))。模式 b 表明  $T_2$  阶地在到磴口之前已

经下降,那么  $T_1$ 、 $T_2$  阶地的交叉处到磴口之间地势应较为平缓,岗德尔山东麓断层对该地段影响较小。实际上,岗德尔山到磴口山地低平,向北逐渐下降,并被大片的冲洪积物覆盖。所以  $T_2$  阶地可能是在河源村和磴口之间的某处就已下降到  $T_1$  阶地之下。

上述阶地分布情况说明,抬升区阶地出露,下沉区阶地被埋藏,抬升区阶地不断被抬升且越高越老,下沉区阶地不断被埋藏并且越深越老,随着抬升区不断向外扩张,出现阶地在沿纵剖面上发生性质、高度的变化以及交叉<sup>[50]</sup>。

岗德尔山河流阶地形成于岗德尔山背斜西翼,阶地的抬升与岗德尔山东麓逆断层 ( $F_1$ ) 不断逆冲密切相关。断层 ( $F_1$ ) 的逆冲使背斜持续上升的同时,并向东西扩展、南北生长,岗德尔山不断向四周生长扩大,使河流下切形成阶地,并造成岗德尔山中部河流阶地抬升最高,南、北端阶地逐渐降低,这种山体抬升扩大造成的阶地高度变化印证了前人的“抬升区与下沉区阶地拔河高度变化模型”<sup>[50]</sup>。

本文就以上关于岗德尔山阶地的相关问题作出以下解释:岗德尔山阶地形成于岗德尔山背斜西翼,主控因素为岗德尔山东麓断层 ( $F_1$ ),与河套古湖切穿形成的裂点上溯无关。断层 ( $F_1$ ) 的逆冲作用使山体持续抬升并向南、北扩大,河流下切形成阶地,阶地随山体的抬升向上、下游扩展,致使岗德尔山中部阶地最高,而向山体南、北端阶地逐渐降低。 $T_2$  阶地因经历的时间长,这种特征尤为明显, $T_1$  阶地时代新,累计抬升幅度小,高度变化不明显(图9)。鄂尔多斯北缘断裂 ( $F_7$ ) 与正谊关断裂 ( $F_3$ ) 活动可能使河套和银川盆地内部相应的埋藏阶地被错断。

综合以上河流阶地沉积相的时空变化,不难得出如下推测:中更新世中期至晚更新世,岗德尔山西侧湖泊发育,河湖共存,随着桌子山断裂带(主要是岗德尔山东麓断层  $F_1$ ) 活动使岗德尔山抬升的同时,山体还向南北两侧扩展,造成湖泊缓慢萎缩,河流逐渐占优,最终形成连接两盆地的黄河,并留下现今所见的两级堆积阶地和河湖相地层。

## 5 结 论

通过对岗德尔山河流阶地的野外测量、河湖相层测年以及前人资料的综合分析得出以下结论:

1) 岗德尔山阶地成因与岗德尔山东麓断层

( $F_1$ ) 活动密切相关,与晋陕黄河贯通河套古湖形成的溯源侵蚀无关。

2) 岗德尔山西麓阶地“低-高-低”拱形特征的形成,与岗德尔山抬升有关,上述阶地向南、北延伸,高度降低,逐渐被埋藏,并可能分别被正谊关断裂 ( $F_3$ ) 和鄂尔多斯北缘断裂 ( $F_7$ ) 错断。

3) 中更新世中期到晚更新世早期,岗德尔山西侧地区河湖并存;随着岗德尔山东麓断裂活动,山体抬升,水流下切,河湖萎缩,最终形成连接两盆地的黄河,并在西麓留下两级阶地。

## 参考文献:

- [1] 春喜. 晚第四纪吉兰泰盐湖古湖面与环境变化研究[D]. 兰州:兰州大学,2006.
- [2] 朱照宇. 黄河中游河流阶地的形成与水系演化[J]. 地理学报,1989(4): 429-440.
- [3] 陈发景,孙家振,王波明,等. 鄂尔多斯西缘褶皱—逆冲断层带的构造特征和找气前景[J]. 现代地质,1987(1): 103-113.
- [4] 黄雄南,张家声,李天斌,等. 南北地震带北段与蒙古中部活动断裂构造特征[J]. 地震地质,2012(4): 637-658.
- [5] 刘少峰,杨士恭. 鄂尔多斯盆地西缘具限制性边界的侧向挤出构造[J]. 中国区域地质,1996(4): 67-74.
- [6] 秦树辉,韩秀珍,郝润梅. 西桌子山珍稀植物群分布区新生代以前生态条件历史演变的研究[J]. 内蒙古师大学报:自然科学汉文版,1999(2): 74-78.
- [7] 秦树辉,韩秀珍,郝润梅. 内蒙古西桌子山新生代以来自然生态环境演变研究[J]. 内蒙古师大学报:自然科学汉文版,2000(4): 307-311.
- [8] 孙家振. 前陆盆地逆冲断层类型与形成机制——以鄂尔多斯地块西缘和塔里木盆地北缘为例[J]. 石油与天然气地质,1991(4): 406-416.
- [9] 邢成起,王彦宾. 正谊关断裂带的新活动与古地震研究[J]. 西北地震学报,1991(4): 54-60.
- [10] 邢成起,王彦宾. 桌子山断裂带及其新活动特征[J]. 西北地震学报,1991(3): 86-88.
- [11] 杨华,陶家庆,欧阳征健,等. 鄂尔多斯盆地西缘构造特征及其成因机制[J]. 西北大学学报:自然科学版,2011(5): 863-868.
- [12] 赵红格,刘池洋,王峰,等. 鄂尔多斯盆地西缘构造分区及其特征[J]. 石油与天然气地质,2006(2): 173-179.
- [13] 周特先,王利,曹明志. 宁夏构造地貌格局及其形成与发展[J]. 地理学报,1985(3): 215-224.
- [14] 张进林. 内蒙古岗德尔山晚寒武世长三期三叶虫的发现[C]. 天津地质矿产研究所所刊,1986(15): 205-211.
- [15] 张进林,陈振川. 内蒙古桌子山地区寒武纪地层

- [C]. 天津地质矿产研究所所刊, 1982(5): 115 - 124.
- [16] 迟元苓. 内蒙岗德尔山寒武系岩石特征及沉积环境分析[J]. 华东石油学院学报: 自然科学版, 1987(4): 8 - 19.
- [17] 丁海军, 孟祥化, 葛铭, 等. 从桌子山剖面看贺兰坳拉谷北段奥陶系等深流沉积[J]. 安徽地质, 2008(1): 8 - 15.
- [18] 郭峰, 郭岭, 赵卫卫. 贺兰坳拉谷奥陶纪岩相古地理[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011(5): 51 - 58.
- [19] 梁永平, 阎福贵, 侯俊林, 等. 内蒙桌子山地区凝结水对岩溶地下水补给的探讨[J]. 中国岩溶, 2006(4): 320 - 323.
- [20] 张进, 马宗晋, 任文军. 鄂尔多斯西缘逆冲褶皱带构造特征及其南北差异的形成机制[J]. 地质学报, 2004(5): 600 - 611.
- [21] 张家声, 何自新, 费安琪, 等. 鄂尔多斯西缘北段大型陆缘逆冲推覆体系[J]. 地质科学, 2008(2): 251 - 281.
- [22] 张文华, 苏景学, 魏文懂. 从桌子山剖面看华北地台西缘奥陶系[J]. 大庆石油学院学报, 2001(3): 28 - 31.
- [23] 张文堂, 朱兆玲, 伍鸿基, 等. 鄂尔多斯地台西缘及南缘的寒武纪地层[J]. 地层学杂志, 1980(2): 106 - 119.
- [24] 张珂, 邹和平, 刘忠厚, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪西界分析[J]. 地质论评, 2009(6): 761 - 774.
- [25] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [26] 李天斌. 鄂尔多斯盆地西缘逆冲推覆构造特征及演化[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [27] 章贵松, 张军, 任军峰, 等. 六盘山弧形冲断体系构造新认识[J]. 新疆石油地质, 2006(5): 542 - 544.
- [28] 白云来, 王新民, 刘化清等. 鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景[J]. 地质学报, 2006(6): 792 - 813.
- [29] 邓起东, 程绍平, 闵伟, 等. 鄂尔多斯块体新生代构造活动和动力学的讨论[J]. 地质力学学报, 1999(3): 13 - 21.
- [30] 李建彪. 河套盆地晚第四纪成湖环境变化与构造活动研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2006.
- [31] 张岳桥, 廖昌珍, 施炜, 等. 论鄂尔多斯盆地及其周缘侏罗纪变形[J]. 地学前缘, 2007(2): 182 - 196.
- [32] 陈发虎, 范育新, 春喜, 等. 晚第四纪“吉兰泰 - 河套”古大湖的初步研究[J]. 科学通报, 2008(10): 1207 - 1219.
- [33] 宁夏回族自治区地质局. 中华人民共和国地质图 K - 48 - 35(磴口)[G]. 银川: 宁夏回族自治区地质局区域地质调查队, 1982.
- [34] 宁夏回族自治区地质局. 中华人民共和国地质图 J - 48 - 05(乌海市幅)[G]. 银川: 宁夏回族自治区地质局区域地质调查队, 1982.
- [35] 内蒙古自治区地质局. 中华人民共和国地质图 K - 48 - 36(渡口堂幅)[G]. 呼和浩特: 内蒙古自治区第一区域地质调查队, 1983.
- [36] 内蒙古自治区地质局. 中华人民共和国地质图 J - 48 - 06(新召幅)[G]. 呼和浩特: 内蒙古自治区第一区域地质调查队, 1983.
- [37] 木士春. 中国陆相硅藻土物化特征及对硅藻生长、埋埋环境指示意义[J]. 湘潭矿业学院学报, 2002(3): 16 - 21.
- [39] BRIDGLAND R D, MADDY D, BATES M. River terrace sequences: templates for Quaternary geochronology and marine-terrestrial correlation[J]. *Journal of Quaternary Science*, 2004, 19: 203 - 218.
- [40] 陈晓龙, 范天来, 张复, 等. 鄂尔多斯高原周缘黄河阶地的形成与青藏高原隆升[J]. 地理科学进展, 2013(4): 595 - 605.
- [41] CRADDOCK W H, KIRBY E, HARKINS N W, et al. Rapid fluvial incision along the Yellow River during headward basin integration [J]. *Nature Geoscience*, 2010, 3(3): 209 - 213.
- [42] HUISINK M. Changing river styles in response to Weichselian climate changes in the Vecht valley, eastern Netherlands[J]. *Sedimentary geology*, 2000, 133: 115 - 124.
- [43] 邢成起, 丁国瑜, 卢演涛, 等. 黄河中游河流阶地的对比及阶地系列形成中构造作用的多层次性分析[J]. 中国地震, 2001(2): 87 - 101.
- [44] 李建彪, 冉勇康, 郭文生. 河套盆地托克托台地湖相层研究[J]. 第四纪研究, 2005(5): 630 - 639.
- [45] 李建彪, 冉勇康, 郭文生. 呼包盆地第四纪地层与环境演化[J]. 第四纪研究, 2007(4): 632 - 644.
- [46] 蒋复初, 王书兵, 李朝柱等. 内蒙古托克托台地湖相地层及其初步意义[J]. 第四纪研究, 2012, 32(5): 931 - 937.
- [47] 蒋复初, 傅建利, 王书兵, 等. 内蒙古托克托湖相地层时代讨论[J]. 地质力学学报, 2013(1): 1 - 13.
- [48] DARBY B J, RITTS B D. Mesozoic contractional deformation in the middle of the Asian tectonic collage: the intraplate Western Ordos fold-thrust belt, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 205: 13 - 14.
- [49] RITTS B D, HANSON A D, BARBY B J, et al. Sedimentary record of Triassic intraplate extension in North China: evidence from the nonmarine NW Ordos Basin, Helan Shan and Zhuozi Shan [J]. *Tectonophysics*, 2004, 386: 177 - 202.
- [50] 杨景春, 李有利. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001: 47 - 50.